

УДК 669.162.261.3.001.24

**В.И.Большаков, Н.М.Можаренко, Н.Г.Иванча, Г.Н.Голубых,  
В.Н.Логинов**

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПРИЕМОВ ЗАДУВКИ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ БОЛЬШОГО И СРЕДНЕГО ОБЪЕМОМ**

*ИЧМ НАН Украины, ОАО «Северсталь»*

Целью исследования является разработка технологических параметров работы доменных печей, обеспечивающих их безаварийную задувку. Выполнено обобщение приемов интенсивной задувки печей, разработаны и систематизированы основные положения современной, эффективной и безопасной технологии задувки доменных печей. Показано, что задувка печи требует тщательной подготовки и строгого соблюдения последовательности всех операций в соответствии с разработанной технологической инструкцией, что обеспечит промышленную безопасность и продление срока службы печей.

**доменная печь, капитальный ремонт, задувка, срок службы, промышленная безопасность**

**Современное состояние и постановка задачи.** Анализ задувок доменных печей (ДП) большого объема ( $3000 \text{ м}^3$  и более) и среднего ( $1000\text{--}2000 \text{ м}^3$ ) показал, что процессы задувки, в принципе, одинаковы для обоих классов печей. Однако при задувке доменных печей большого объема возникает ряд особенностей связанных с их размерами. Практика ввода в эксплуатацию ДП показывает, что одной из главных задач при задувке является обеспечение интенсивного наращивания газодинамических параметров при сохранении технологии устойчивого развития процессов плавки. Сложность этапа задувки состоит в том, что в течение достаточно сжатого периода работа печи осуществляется в переходном режиме, что усложняет ее управление. Поэтому задувка ДП требует тщательной подготовки и строгого соблюдения последовательности всех операций.

**Целью исследования** является разработка технологических параметров работы доменных печей, обеспечивающих их безаварийную задувку.

**Изложение основных материалов исследования.**

Успех пускового периода определяется рядом технологических положений, которые сформулированы на основании анализа задувок печей разного объема [1–5]. Для обеспечения эффективной ускоренной задувки ДП рекомендуется [6, 7] проводить предпусковые испытания оборудования систем контроля и управления загрузкой и исследования распределения шихты на колошнике, включающие: проведение холостой прокрутки оборудования с использованием имитатора сигналов о движении шихтовых материалов и реальных сигналов о работе оборудования; исследования движения шихтовых материалов в колошниковом простран-

стве и их распределения на поверхности засыпи; экспериментальную проверку расчетных траекторий движения потока шихтовых материалов при различных углах наклона распределительного лотка; определение рациональной величины раскрытия шихтовых затворов для регулирования продолжительности выгрузки порций различных шихтовых материалов. Проведение этих исследований позволяет существенно сократить продолжительность задувки и раздувки печи, обеспечить стабильную работу системы загрузки и уменьшить расход энергоресурсов.

Большое внимание следует уделять выбору шихтовых материалов, технологическому обоснованию исходных посылок при выполнении расчета задувочных шихт (общая рудная нагрузка на всю задувочную шихту, основность шлака, размещение задувочных шихт по высоте печи). При определении состава задувочной шихты необходимо исходить из того, что она должна обеспечить не только получение чугуна и шлака заданных составов и свойств, но и обеспечить теплотребность процессов плавки и компенсировать теплотраты на нагрев шихты, холодной футеровки, кофуха печи и потери с охлаждающей водой.

При выборе задувочной шихты в ее состав необходимо вводить дополнительно шлаковую щебенку в таком количестве, чтобы выход шлака на одну тонну чугуна, выплавленного из задувочной шихты, был в пределах 900–1200 кг/т чугуна. Увеличенный выход шлака за счет его высокой теплоемкости позволяет принести в горн дополнительное количество тепла, что важно при высокой теплотребности горна в период задувки печи [8, 9].

Уровень технологических параметров печи определяется ее полезным объемом. Чем больше объем печи, тем больше должно быть давление газов на колошнике и, естественно, давление дутья на фурмах. Для печей полезным объемом  $3000 \text{ м}^3$  и более давление газов на колошнике принимается равным  $2,5 \text{ кгс/см}^2$ . В настоящее время в мировой практике есть решения по увеличению давления газов на колошнике до  $3,0\text{--}3,5 \text{ кгс/см}^2$ . Исходя из этого, необходимо особо тщательно испытывать печи на газоплотность перед задувкой.

При подготовке печи к задувке необходимо разработать программу загрузки печи задувочной шихтой, в которой должны быть изложены основные технологические положения, принятые при расчете задувочной шихты, меры по защите лещади и всего профиля печи при загрузке материалов в печь, порядок размещения задувочных шихт по высоте, программа работы распределителя шихты загрузочного устройства по всей высоте рабочего пространства печи [7, 9, 10].

В процессе загрузки необходимо отслеживать уровень заполнения рабочего объема печи первой шихтой. При расчете объемов задувочных шихт необходимо учитывать уменьшение первичного расчетного объема шихты в результате частичного разрушения кусков шихтовых материалов и заполнения межкусковых пустот мелкими фракциями путем ввода ко-

эffфициента «уминки» шихты, который на практике принимается равным ~15% первичного расчетного объема загружаемых шихтовых материалов.

При расчете задувочной шихты в целом и разработке программы загрузки доменной печи определяются объемы отдельных слоев шихты и разрабатывается расчетная схема размещения их по высоте печи [11]. На рисунке приведен пример расчетной схемы размещения задувочных шихт для ДП-4 «Северстали» объемом 2700 м<sup>3</sup> (задувка 2005 г.) и фактическое расположение шихт первого объема, сформировавшееся в процессе загрузки.

В программе загрузки печи задувочной шихтой обязательно должны быть предусмотрены исследования распределения материалов на последних трех подачах рабочего объема. Основными задачами этих исследований является: определение порядка формирования подачи; уточнение траекторий схода материалов с распределителя и их движения в печи; определение порядка выгрузки агломерата, окатышей и флюсующих добавок на поверхность засыпи шихты; получение топографии профиля засыпи при различных режимах работы распределителя шихты; определение изменения гранулометрического состава порции на поверхности засыпи.

Полученные результаты предпусковых исследований являются основой для разработки рациональной программы загрузки, формирования технологии ведения печи при работе ее в стационарных условиях плавки и для корректировки программ загрузки при изменении условий работы печи. Загрузку задувочной шихты необходимо выполнить в соответствии с технологическими рекомендациями размещения ее по высоте и сечению доменной печи. При этом решается основная задача – обеспечить рациональное соотношение газопроницаемости и развития центрального и периферийного газовых потоков для активизации восстановительно-тепловых процессов [12].

При задувке печи следует обратить первостепенное внимание на обеспечение нормального теплового состояния горна ДП. С этой целью необходимо обеспечить целенаправленную подачу в низ горна части фурменных газов посредством создания хорошо газопроницаемой коксовой «подушки» и установки во все чугунные летки стальных перфорированных труб диаметром 150–200 мм для отвода газа. Очень важно обеспечить достаточный прогрев горна, особенно в печах большого объема, т.к. в них отношение площади, на которой генерируется тепло в фурменной зоне к объему горна от оси воздушных фурм до оси чугунных леток значительно меньше, чем у печей среднего объема. Поэтому здесь могут создаваться застойные газовые зоны, что значительно затрудняет перенос тепла в нижнюю часть горна. Это снижает темп и уровень нагрева металлоприемника и может привести к ухудшению условий формирования жидких продуктов плавки. Ввиду такой особенности печей большого объема потребовались дополнительные технологические решения, не применявшиеся на печах малого объема – заполнение объема горна ниже уровня

фурм отработанными шпалами или нестроевой древесиной, скрепленными в виде клетей.

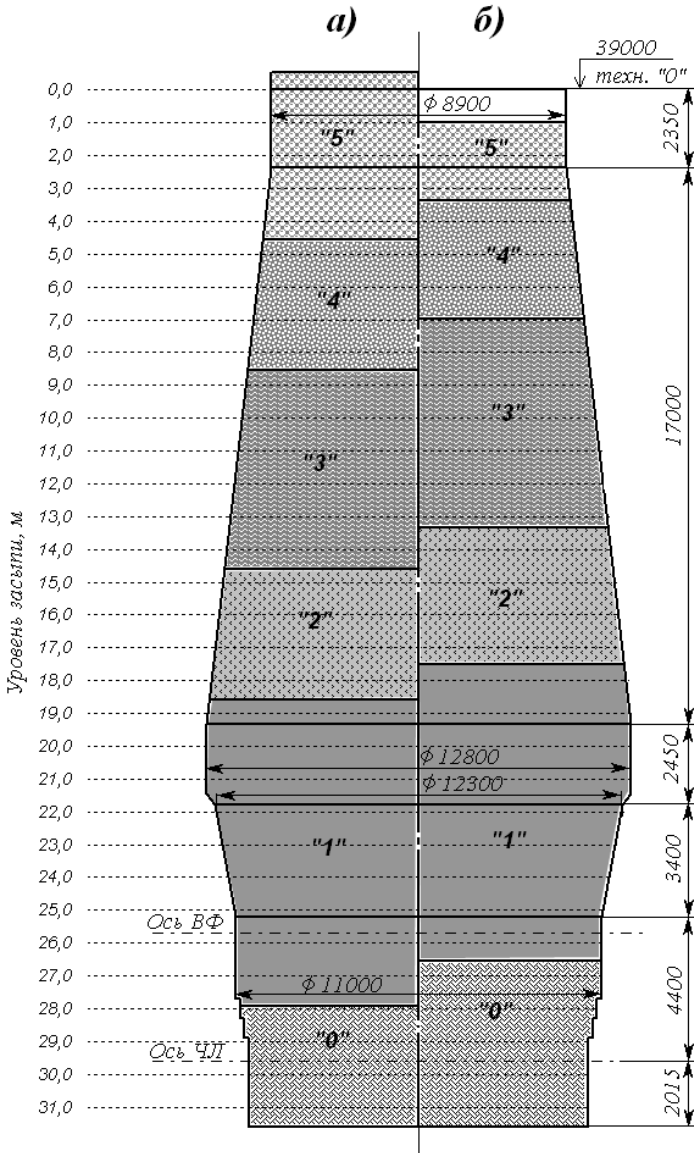


Рисунок. Схема расположения расчетной (а) и фактически загруженной (б) задувочной шихты при задувке ДП-4 «Северстали» объемом 2700 м<sup>3</sup> (2005г.).

В первые сутки работы печи после задувки практически до первого выпуска основные технологические решения необходимо направлять на разогрев печи. Учитывая большой объем горна современных ДП, выпуск чугуна следует выполнять через 32–36 часов с момента задувки, вместо практикуемого в отдельных странах открытия выпуска через 24 часа. Задержки увеличенного объема продуктов плавки в горне повышают тепловой потенциал низа печи. Практика выпуска первого чугуна по такой методике позволяет выполнить его с разделением чугуна и шлака; при этом состав чугуна, как правило, соответствует не только расчетному, но и требованиям стандарта предприятия по содержанию серы.

Задувку печи следует выполнять с начальным расходом дутья в пределах  $0,5\text{--}0,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$  объема печи и температурой  $700\text{--}750^\circ\text{C}$ . После устойчивого зажигания кокса на фурмах температуру дутья следует снизить до  $450\text{--}500^\circ\text{C}$ . В течение периода раздувки печи до выдачи первого чугуна, поступательно наращивая, довести расход дутья до  $0,9\text{--}1,0 \text{ м}^3/\text{м}^3$  объема печи. При этом за счет регулирования газодинамических параметров необходимо обеспечить скорость истечения дутья не менее  $150\text{--}160 \text{ м/с}$ . После выдачи первого чугуна и оценки теплового состояния печи при нормальном ходе задувки необходимо ускоренными темпами форсировать ход печи для скорейшего перехода на устойчивый режим работы. По мере наращивания расхода дутья по  $30\text{--}35 \text{ м}^3/\text{ч}$  следует корректировать программу загрузки так, чтобы обеспечить сбалансированность развития центрального и периферийного газовых потоков. Темп наращивания температуры дутья должен быть ниже, чем расход дутья. К моменту выдачи первого чугуна температура дутья должна быть на уровне  $750\text{--}800^\circ\text{C}$ . Природный газ целесообразно подавать в печь через 8–10 часов после задувки печи. Кислород на обогащение дутья следует принять при достижении расхода природного газа  $4,0\text{--}4,5\%$  от расхода дутья. Теоретическая температура горения к моменту выпуска первого чугуна должна быть на уровне  $1900\text{--}1950^\circ\text{C}$ .

Содержание кремния в чугуне первых 2–3 выпусков должно быть в пределах  $3,0\text{--}3,5\%$ , после чего его следует уменьшить сначала до уровня  $2,0\text{--}2,5\%$  в течение 2–3 суток, затем до  $1,5\text{--}1,75\%$  и работать на таком уровне кремния 4–5 суток. Для хорошего заграфичивания футеровки горна периода работы ДП с содержанием кремния  $3,5\text{--}1,5\%$  вполне достаточно; после чего необходимо перейти на выплавку чугуна с содержанием кремния  $1,0\text{--}1,25\%$ . Период раздувки печи с выходом на заданный уровень производства и расхода кокса при устойчивом технологическом состоянии печи и работе всего комплекса должен составлять  $1,0\text{--}1,5$  месяца [13, 14].

Изложенные основные технологические положения задувки печей большого и среднего объемов являются основополагающими для всех вариантов задувок, отличающихся интенсивностью задувки и раздувки,

структурой дутья (обогащенного кислородом и природным газом). Они базируются на результатах анализа разработок, внедренных ИЧМ совместно с ОАО «Северсталь» и ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» на доменных печах объемом 2000, 2700, 5000 и 5500 м<sup>3</sup> [6, 7, 10, 11, 15, 16].

**Особенности задувки доменных печей с использованием азота.** Эта технология разработана в ИЧМ в конце 80-тых годов прошлого столетия и была опробована в разные периоды времени на заводе им. Петровского, МК «Криворожсталь» и ЗСМК [4, 5, 16]. Основное технологическое и теплотехническое преимущество этой технологии, исходя из теоретических предпосылок, заключается в том, что снижение концентрации кислорода в атмосферном дутье до 16–17% значительно уменьшает объем горновых газов и величины перепадов давления по высоте печи, позволяя увеличивать нагрев дутья. При увеличенном количестве азота в газе и замедленном ходе шихтовых материалов также создаются благоприятные предпосылки переноса тепла в верхние горизонты печи. Кроме того, уменьшение интенсивности горения кокса обуславливает уменьшение скорости схода шихты, что, при длительном пребывании материалов в печи, будет способствовать большему их прогреву. Преимущества этой технологии в сравнении с существующими вариантами задувки до настоящего времени не изучены.

#### **Выводы.**

В Институте черной металлургии НАН Украины разработаны и систематизированы основные положения современной, эффективной и безопасной технологии задувки доменных печей, выполнено обобщение приемов интенсивной их задувки.

1. *Задувка доменной печи с применением природного газа* / Г.Г.Галлиев, В.И.Кривоносов, Ф.П.Пономарев и др. // *Металлург.* – 1976. – №2. – С.15–17.
2. *Исследование доменного процесса в задувочный период при вдувании кислорода в центральную часть горна* / А.Е.Пареньков, Ю.П.Мишин, Е.Ф.Вегман, Ю.С.Юсфин и др. // *Изв.ВУЗов «Черная металлургия».* – 1983. – №5. – С.20–24.
3. *Форсированная раздувка доменных печей с пониженным расходом кокса* / М.Д.Жембус, А.П.Монаршук, А.П.Огурцов, А.И.Васюченко // В кн. «Экономия кокса в доменных печах». – М.: Металлургия, 1986. – С.23–28.
4. *Раздувка доменной печи с применением азота* / А.С.Янковский, М.Ф.Марьясов, А.В.Польщиков, М.Д.Жембус и др. // *Металлург.* – 1988. – №11. – С.29.
5. *Применение азота при раздувке доменных печей* / М.Д.Жембус, А.П.Монаршук, Г.А.Зуенок и др. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1986. – №2. – С.7–9.
6. *Распределение материалов на колошнике доменной печи объемом 3000 м<sup>3</sup>* / В.Л.Покрышкин, Ж.Е.Слепцов, Ф.К.Адмакин и др. // *Бюл. НТИ «Черная металлургия».* – 1972. – №11. – С.37–40.

7. *Предпусковые* исследования распределения материалов в доменной печи объемом 5500 м<sup>3</sup> / Н.М.Можаренко, В.И.Большаков, А.Ю.Зарембо, Э.С.Хомяков // Черная металлургия. Наука–технология–производство. – МЧМ СССР. – М.: Металлургия, 1989. – С.56–63.
8. *Научно–технические* решения по обеспечению продолжительной безопасной работы доменных печей / В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, А.С.Нестеров и др. // Цільова комплексна програма НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин». Збірник наукових праць за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. – ІЕС ім. Є.О. Патона НАН України. Київ. – 2006. – С.440–444.
9. *Доменное* производство «Криворожстали». Монография под ред. чл.–корр. НАН Украины В.И. Большакова / В.И.Большаков, А.В.Бородулин, Н.А.Гладков, Н.Г. и др. – ИЧМ НАН Украины, «Криворожсталь». – Дн–ск, Кривой Рог. – 2004. – 378с.
10. *Раздувка* мощной доменной печи объемом 5500 м<sup>3</sup> / В.А.Улахович, Н.М.Можаренко, В.И.Нетронин и др. // Сталь. – 1988. – №1. – С.12–18.
11. *Задувка* и освоение доменной печи объемом 2700 м<sup>3</sup> / Л.А.Бялый, В.А.Ванчиков, А.П.Котов и др. // Сталь. – 1972. – №9. – С.787–792.
12. *Большаков* В.И. Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. – К.: Наукова думка, 2007. – 412с.
13. *Промышленная* безопасность доменных печей при задувке и выдувке / В.И.Большаков, Г.Н.Голубых, Н.М.Можаренко, Л.Г.Тубольцев // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр. ИЧМ. – 2007. – Вып.14. – С.290–309.
14. *Научно–технические* решения по обеспечению безопасной работы доменных печей в стационарных и переходных режимах / В.И.Большаков, Н.М.Можаренко, Л.Г.Тубольцев, Г.Н.Голубых // «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Сб.научн.тр. ИЧМ. – 2008. – Вып.17. – С.283–300.
15. *Работа* доменной печи объемом 3200 м<sup>3</sup> в раздувочный период / Н.М.Можаренко, Е.М.Визлов, Г.И.Урбанович и др. // В кн. «Опыт эксплуатации доменных печей объемом 3200 м<sup>3</sup> и более». – М.: Металлургия, 1982. – С.69–74.
16. *Задувка* доменной печи объемом 5000 м<sup>3</sup> с применением нагретого азота /А.В.Бородулин, А.И.Васюченко, К.А.Дмитренко, Г.П.Костенко и др. // Сталь. – 2006. – №9. – С.6–9.

*Статья рекомендована к печати:  
заместитель ответственного редактора  
раздела «Доменное производство»:  
докт.техн.наук, проф. И.Г.Товаровский  
рецензент к.т.н. И.Г. Муравьевой*

*В.І.Большаков, М.М.Можаренко, М.Г.Іванча, Г.М.Голубих, В.М.Логінов*

**Технологічне обґрунтування раціональних прийомів задування доменних печей великого і середнього об'ємів**

Метою дослідження є розробка технологічних параметрів роботи доменних печей, що забезпечують їх безаварійне задування. Виконано узагальнення прийомів інтенсивного задування печей, розроблено і систематизовано основні положення сучасної, ефективної і безпечної технології задування доменних печей. Показано, що задування печі вимагає ретельної підготовки і суворого дотримання послідовності усіх операцій відповідно до розробленої технологічної інструкції, що гарантує промислову безпеку та продовження терміну служби печей.